

Tartu Ülikool
Psühholoogia Instituut

Johannes Vähi

**Silmapilgutuste seosed subjektiivse väsimustunde ja CFF-mõõtmiste
tulemustega**

Juhendajad: Nele Kuldkepp, MSc ja Kairi Kreegipuu, PhD

Läbiv pealkiri: Silmapilgutuste seosed väsimusega

Tartu 2012

Kokkuvõte

Silmapilgutuste seosed subjektiivse väsimustunde ja CFF-mõõtmiste tulemustega

Käesoleva uuringu eesmärk oli hinnata subjektiivsete (mõõdetuna Borg CR10-skaalal) ja objektiivsete (mõõdetuna vilkumise sulandumise kriitilise läve ehk CFF-meetodil) väsimusehinnangute suhet spontaansete silmapilgutuste parameetritega. Pilgutused ja väsimuse hinnangud salvestati enne ja pärast monotoonse loomuga katset. Leiti, et väsimuse kasvades silmapilgutused sagedasid; nende kestus pikenes ja intervallid vähenesid. Vastuolus seniste uuringutega leiti, et väsimuse kasvades tõusis ka pilgutuste keskmine amplituud. Tõenäoliselt peituvad selle põhjused katseisikutele antud instruktsioonis, milles neil paluti silmapilgutusi vältida. Kokkuvõttes leiti, et peale pilgutuste amplituudi, ei ennustanud CFF-mõõtmised ega Borg CR10 vastused statistiliselt olulisel määral muid silmapilgutuste omadusi.

Abstract

The relations of eye-blinks, CFF-measures and subjective evaluations of fatigue

The present study aimed to provide estimates of the relation between subjective (measured with Borg CR10 scale) and objective (measured with critical flicker frequency or CFF) means of evaluating fatigue, and endogenous blinks' properties, which are known to be subject to change in function with growing fatigue. Eye-blink properties and fatigue measurements were recorded before and after a presumably fatigue-inducing monotonous trial. It was found that with growing fatigue, the amount of blinks and their average durations would increase, parallely with decreasing intervals. It was also found that blinks' average amplitude tended to increase, whereas other researchers have hitherto come to a different result. It is probable that this difference is due to the inhibitive-natured instructions given to the participants in the beginning of the measurements. In summary, neither CFF-measurements nor Borg CR10 noticeably predicted (in the sense of statistical significance) the changes in the blink properties, other than that of the blink amplitude.

1. Sissejuhatus

On hästi teada, et unedepriivatsioon ja unisus kahandavad tugevasti meie võimeid. Üha enam pööratakse tähelepanu väsimuse poolt põhjustatud liiklusõnnetuste suurele arvule. Camkini (1991) sõnul umbes 20-30% kõikidest liiklusõnnetustest, Idogawa (1991) järgi aga isegi kuni 35-45%. Roolis mobiiltelefoni kasutamist ja väsimust paigutatakse tänapäeval aina tihemini ühte ohukategooriasse alkoholijoores juhtimisega. Seetõttu otsitakse ka üha rohkem võimalusi taoliste juhtumite vähendamiseks, mis omakorda on mitmekordistanud sellele küsimusele keskenduva teadustöö hulga. Juba mõnda aega on uneküsimustega tegelevaid teadlasi paelunud elektroentsefalograafia (EEG) ja selle mõõtmiste korrelaadid une ja ärkvelolekuga. Küll aga, toovad Schleicher, Galley, Briest ja Galley (2008) välja, on senini raskusi jõudmaks üksmeelele selles, kuidas täpselt väljendub une algus EEG-tulemuses (Schleicher et al., 2008) Ohutuse seisukohast vaadatuna see ehk ei olegi nii oluline – vaja oleks leida pigem need muutused, mis tekivad juba enne tegelikku unnevajumist. Kirjanduse hulk aga, mis käsitleb EEG muutusi seoses unisusega, on suur, ja selle tulemused on küllaltki mitmekesised. Lisaks on ajalainete omadustel suuri inimestevahelisi erinevusi, tulenedes soost, vanusest, ekstravertsuse tasemest jpm (Lal & Craig, 2001a). See aga võib osutada juba iseeneses probleemiks, sest juhul kui püüame arendada unisust detekteerivaid ohutusseadmeid, tuleb viia valehäire võimalus miinimumini. Samuti ei tohiks seade olla kasutajale tüütu, ebamugav või hoopistükkis segav (Lal & Craig, 2001a). Üheks uurijatepoolseks reaktsiooniks sellele probleemile (EEG suhteline keerulisus ja ebamugavus) on olnud okulomotoorsete parameetrite uurimine. Seda on võimalik teha EOG ehk elektrookulogrammiga (töötab samal põhimõttel, millel EEG, ent piisab vaid mõnest üksikust silmalihaste tööd detekteerivast elektroodist) või mittekontaktsete silmaliigutusi jälgivate seadeldistega. Okulomotoorsete parameetrite ning subjektiivse väsimustunde ja selle objektiivsete füsioloogiliste korrelaatide seoste lähem tundmaõppimine sillutab teed liiklusvahendite (aga ka rasketööstuses, militaartegevustes jne kasutatavate masinate) ohutustaseme potentsiaalsele tõstmisele väsimust detekteerivate seadmete arendamise abil.

Huvipakkuvateks okulomotoorseteks parameetriteks on nii silmaliigutused kui ka –pilgutused. Peamised aspektid, mida silmapilgutuste juures uuritakse, on pilgutuste ajalised kestused, pilgutustevahelised ajalised intervallid (ehk pilgutuste sagedus), pilgutuste amplituudid (võiks tõlgendada kui pilgutuse intensiivsust – käesolevas katses mõõdetakse seda μV ühikutes), aga

ka spetsiifilisemad parameetrid nagu sulgemiskiirus, taasavamise viivis, silmapilu avatus (ühik mm) jpt.

Caffier, Erdmann ja Ullsperger (2003) viitavad mitmetele uuringutele, mis on jõudnud arusaamani, et silmapilgutuste intervallid vähenevad kui inimene tegeleb pikemalt mõne tegevusega (nt lugemine, auto- või lennuki juhtimine jne). Selliseid tegevusi on teisalt seostatud ka väsimuse tekkimisega (Dinges, 1995). Ka käesolevas katses oli tegemist olukorraga, mis võiks katseisikud katse käigus (vt sektsioon 2. Meetod). Hargutt (2003) on leidnud, et kerge väsimuse korral on märgata silmapilgutuste sagenemist; raskema väsimuse puhul aga lisandub ka silmapilgutuste kestuste pikenemine (Schleicher et al., 2008 järgi). Hargutt'i leide kinnitasid ka Caffier et al. (2003), Schleicher et al. (2008) ja Åkerstedt, Ingre, Kecklund, Anund, Sandberg, Wahde et al. (2010) uuringute tulemused. Schleicher et al. (2008) tulemuste kohaselt on silmapilgutuse kestus okulomotoorsete parameetrite seast kõige usaldusväärsem väsimust ennustav näitaja. Samas leiti tugevad seosed ka silmalau sulgemise kiiruse ja silmalau avamise viivituse ning väsimuse vahel. (Schleicher et al., 2008) Samuti on uuringud näidanud, et väsimuse kasvades ja ärksuse vähenedes langeb spontaansete pilgutuste keskmine amplituud (Morris (1985); Morris & Miller (1996); Gupta, Kar, Gupta, & Routray, 2010; Åkerstedt et al., 2010). Morris (1985) peab amplituudi langust ka üheks parimaks veakoefitsendi tõusu ennustajaks lennusimulatsiooni-ülesannetes, mida võib tõeäoliselt üle kanda ka teistele valvsust ja täpsust vajavate ülesannetele.

Väsimusdetektorite arendus, kannustatuna vajadusest suurendada transporditööstuse ohutust, seisab siiski vastamisi mitme lahendamistvajava probleemiga. Üks neist ongi küsimus, kuidas usaldatavalt ja täpselt mõõta katseisiku väsimust. Lähtuvalt sellest püüangi käesolevas uurimuses järeldusi teha silmapilgutuste elektriliselt mõõdetavate üldomaduste (intervall, kestus, amplituud) ning väsimuse suhete kohta, püüdes leida kinnitust ideele, et silmapilgutused võiksid olla reliaabsed ja valiidsed seisundinäitajad. Küll aga tekib siingi referentsiprobleem – kas ja kui usaldusväärsed on väsimusenäitajad, mille põhjal järeldusi pilgutuste parameetrite kohta saab teha. Ühe meetodina väsimuse hindamisel kasutatakse inimeste enda subjektiivseid hinnanguid. Varemalt on küll subjektiivsete (s.o. inimeste enda hinnangud väsimuse kohta) hinnangute reliaabluses kaheldud, näiteks seavad Rogers ja Dinges (2003) subjektiivsete hinnangute ja reaalse soorituse täpse ühtivuse kahtluse alla (Ingre, Åkerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006 järgi). Uuemad uurimused aga on näidanud nende küllaltki kõrget usaldusväärsust ja paikapidavust (võrreldes nn objektiivsete

hinnangutega nagu EEG-mõõtmised, veakoeftsendid autosõidusimulatsioonis jne (Ingre et al., 2006, Schleicher et al., 2008). Seetõttu on taolise uurimuse põhimõtteline kordamine ning erinevate seonduvate hüpoteeside paikapidavuse kontrollimine vajalik. Subjektiivsed väsimushinnangud kogutakse nii katse alguses (edasipidi PRE-tingimus) kui katse lõpus (edasipidi POST-tingimus), paludes katseisikutel oma väsimust ise kümne palli süsteemis (adapteeritud Borg CR10 skaala, Borg, 1998) järgi hinnata. Paralleelselt mõõdetakse ka nägemistaju ajalist lahtusvõimet – mõõtmine sooritatakse kriitilist ehk vilkumise sulandumise sageduse näitu registreeriva CFF (*critical flicker frequency*) aparatuuri abil (väsimuse tõusu ja nägemistaju ajalise lahtusvõime languse vahelist korrelatsiooni on varem tõestanud Simonson ja Enzer, 1941; Simonson ja Brozek, 1952; Mitsuhashi, 1995; Luczak ja Sobolewski, 2005 jpt). Seega, lähtudes eelnevates teadustöodes saadud tulemustest, püstitan järgnevad hüpoteesid:

- 1) katseisikute subjektiivsed väsimusehinnangud ja CFF-mõõtmiste (edasipidi SVC) tulemused näitavad POST-tingimuses suuremat väsimust kui PRE-tingimuses; ning sellest lähtuvalt
- 2) silmapilgutuste keskmised kestused on POST-tingimuses pikemad kui PRE-tingimuses, korreleerudes SVC-näitajatega;
- 3) silmapilgutuste keskmine intervall on POST-tingimuses lühem kui PRE-tingimuses, korreleerudes SVC-näitajatega;
- 4) silmapilgutuste amplituudid on POST-tingimuses madalamad kui PRE-tingimuses, korreleerudes SVC-näitajatega.

2. Meetod

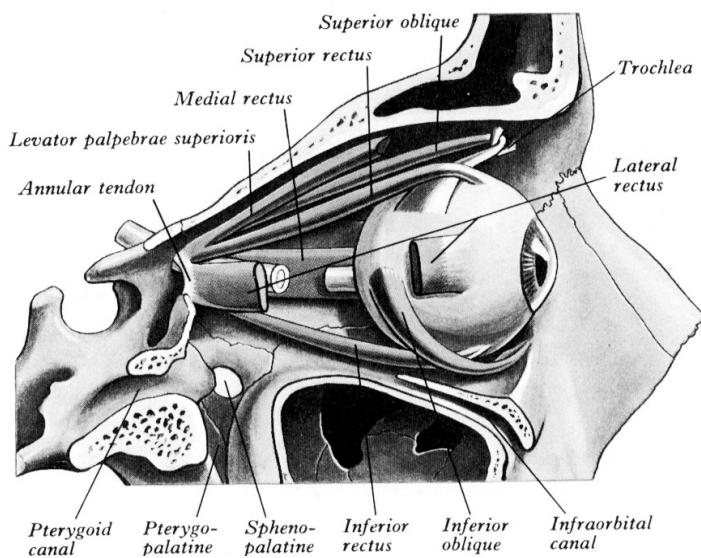
Käesolevas uurimuses kasutatud andmed on kogutud TÜ eksperimentaalpsühholoogia laboris ajavahemikul 2010-2011 nägemistaju katse käigus. Enne (PRE-) ja pärast (POST-tingimus) nägemistaju katse tuumaks olnud EEG mõõtmist, mis kestis 60-90 minutit, mõõdeti ka baastaseme/rahuoleku EEG (sh silmaliigutused) nii silmad kinni (120 sekundit) kui silmad lahti (120 sekundit) tingimuses. Silmad lahti tingimuses instrueeriti katseisikud lugema mõttes kümneni, seejärel pilgutama viis korda tahtlikult silmi ning jääma rahulikult otse vaatama, püüdes näolihaseid ega silmi mitte liigutada. Mõõtmised toimusid hämaralt valgustatud ruumis. Käesolevas uuringus kasutan just viimaseid (s.o. silmad lahti baastaseme mõõtmiste) tulemusi. Samuti osalesid katseisikud mõlemas tingimuses (PRE ja POST) nägemistaju ajalist lahtusvõimet mõõtvast katses (mis sooritati CFF-aparatuuri abil). CFF-mõõtmisi viidi läbi

kahe suunas, s.o. alustades madalast vilkumissagedusest ja liikudes kiire vilkumissageduse poole (ülenev) ning vastupidi (alanev) kolm korda, kokku kuus individuaalmõõtmist nii PRE- kui POST-tingimuses. Lisaks andsid katseisikud mõlemas tingimuses koos CFF katsega ka subjektiivsed väsimuse hinnangud Borg CR10 skaalal.

2.1. Valim

Nägemistaju katses osales 49 vabatahtlikku (14 meest, 35 naist; keskmine vanus 21.2; $SD = 2.3$ aastat) hea tervise juures olevat katseisikut. Katseisikutel paluti katsele tulles olla puhanud ning korrigeerimistvajava nägemise korral kanda endale sobiva tugevusega prille/läätsi. Kuue katseisiku andmed osutusid katseprotokolli mittejärgimise ja/või tehniliste probleemide tõttu silmapilgutuste uuringu jaoks ebasobilikeks ning jäid seetõttu analüüsist välja. Lõplikku valimisse jäid 43 katseisiku (11 meest, 32 naist; keskmine vanus 21; $SD = 2.1$ aastat) EOG tulemused.

2.3. Katse ülesehitus ja EEG/EOG salvestamine



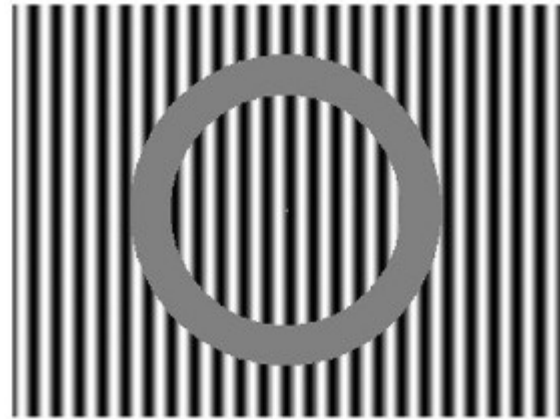
Joonis 1. Parema silma muskulatuur (Allikas: Williams, P. L., Warwick, R., Dyson, M., Bannister, L. H. (Eds). (1989). *Gray's Anatomy*. 37th Ed. Edinburgh: Churchill Livingstone.)

Elektroentsefalogrammi registreerimiseks kasutati 32 aktiivelektroodiga alalisvoolulist EEG süsteemi (*ActiveTwo, BioSemi*), mis oli paigutatud rahvusvahelise 10-20 süsteemi järgi. EOG funktsiooni täitsid lisaelektroodid, registreerides horisontaalsed ja vertikaalsed silmaliigutused. Silmaliigutusi tekitavad kuus ekstraokulaarset lihast: *lateral rectus, medial rectus, inferior rectus, superior rectus, inferior oblique* ja *superior oblique*. Silmalau

liigutamise tegelevad kõige otsesemalt *orbicularis oculi* (silmalau sulgemine) ja *levator palpebrae superioris* (silmalau avamine), ent Evinger ja Manning (1993) sõnul aktiveeruvad nii tahtliku kui tahtmatu silmapilgutuse ajal ka teised ekstraokulaarsed lihased, mistõttu on tugeva signaali tõttu silmapilgutusi EOG abil väga lihtne tabada. EEG-mõõtmiste salvestussageduseks oli 1024 Hz ning salvestusfiltriiks 0.16-100 Hz. Referentselektroodid (2tk) olid kinnitatud kõrvadele.

2.3. Tuumkatse kirjeldus

Tuumkatse, enne ja pärast mida on kogutud uuringus analüüsitavad andmed, oli suhteliselt monotoonse sisuga (s.o. stiimul oli kogu katse vältel ühetaoline; esinesid vaid järgnevalt kirjeldatud variatsioonid). Terve ekraani ulatuses kuvatud siinusvõre (täpsed parameetrid Kuldkepp, Kreegipuu, Raidvee, & Allik, 2011; Kuldkepp, Kreegipuu, Raidvee, Näätänen, Allik, 2012) oli jaotatud tausta-alaks ja testalaks



Joonis 2. Katses kasutatud stiimul (Allikas: Kuldkepp et al. (2011))

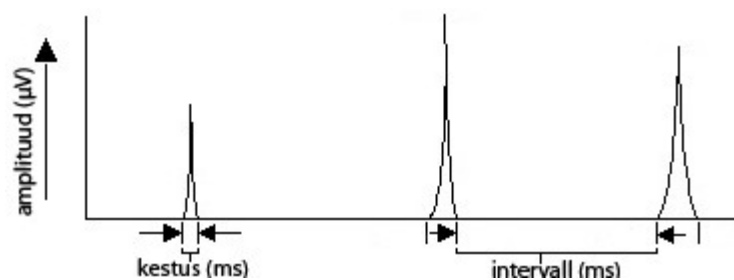
(diameeter 8.26°). Taust liikus pideva tsükli kiirusel 1.6 %/s nii, et 200 ms toimus liikumist, seejärel 600 ms pausi ning 85% juhtudest liikus taust paremale, 15% juhtudest vasakule. Testala hakkas liikuma varieeritud ajahetkedel kiirusega 0.6 %/s kas paremale või vasakule. Katseisikute ülesanne oli a) ühtedes seeriates reageerida nupuvajutusega võimalikult kiiresti, kui testala hakkas liikuma ning ignoreerida seda, mis toimub taustal; b) teistes seeriates vastata nupuvajutusega, kas taust ja testala liikusid samas või vastupidises suunas. (Kuldkepp et al., 2011).

2.4. Andmetöötlus

EEG salvestisi töötleti tarkvaraga *BrainVision Analyzer 1.05* (*Brain Product GmbH*) –

andmetest eemaldati ebavajalikud sagedused

nullfaasilise digitaalfiltriga ($n < 0.1$ Hz; $n > 13$ Hz sagedused eemaldati) ning seejärel eraldati EOG-elektroodide andmed. Viimastest ekstraheeriti, kasutades Grattoni ja Coles'i algoritmi (Gratton & Coles, 1983), silmapilgutused, mille ajalised omadused (kestused, intervallid) salvestati edasiseks töötlemiseks tavatekstina. Eraldi salvestati ka pilgutuste elektrilised amplituudid (μV). Seejärel kustutati silmapilgutuste andmestikust viis esimest salvestatud pilgutust, mille katseisikud olid teinud lähtuvalt katse teisejärgulistest eesmärkidest eksperimentaatori palvel, ning mis ei peegelda antud olukorras korrektselt



Joonis 3. Silmapilgutuste omaduste illustratsioon

spontaansete silmapilgutuste omaduste muutusi. Spetsiaalselt valmistatud tarkvara (*mIRC 7.22* baasile kirjutatud *script – EEG Data Organizer v1.0*) abil anti *Vision Analyzer*-ist väljastatud toorandmetele ajalised väärtused (ühikutes ms ja s), arvutati välja pilgutuste kestused, pilgutustevahelised intervallid ja nende keskmised nii üksikisiku kui ka kogu analüüsitava katsepopulatsiooni lõikes. Caffier et al., 2003 juhivad tähelepanu, et mõningad uurijad eelistavad mõõta pilgutuse kestust alates hetkest, kui silmalaug on poolel teel sulgumiseni (s.o. 50% amplituudist) ning lõpetades hetkega, mil silmalaug on pooleldi taasavanenud. Selline käsitlus peaks täpsemalt peegeldama aegavahemikku, mil silmapupill on kaetud, ent käesolevas uuringus kasutan ma aga üldisemat lähenemist, kus kestust arvestatakse kogu elektrilise aktiivsuse vältel, mis EOG abil on registreeritud (vt joonis 3), lähtuvalt Grattoni ja Coles'i algoritmi (Gratton & Coles, 1983) vaikimisi seadistustest kasutatud andmetöötlustarkvaras.

CFF-mõõtmiste tulemused keskmistati *Microsoft Excel 2000* abil, mis omakorda, paralleelselt Borg CR10 testi vastustega, pandi suhtesse silmapilgutuste ajaliste ja elektriliste omadustega. CFF-mõõtmiste ja Borg CR10 testi parameetrites toimivate muutustega ühtivust ning selle statistisilist olulisust hinnati *t*-testi abil (*StatSoft Statistica 8* abil). CFF-mõõtmiste ja Borg CR10 omavahelist kokkulangevust väsimuse hindamisel mõõdeti Pearsoni lineaarse korrelatsiooni abil (kasutades *Microsoft Excel 2000*).

3. Tulemused

3.1. SVC-hinnangute muutused

Võrreldes PRE- ja POST-tingimuses registreeritud CFF-mõõtmiste koondtulemusi (PRE puhul 35.26 Hz; *SD* = 3.4 ja POST puhul 34.47 Hz; *SD* = 3.37) ja subjektiivseid väsimusehinnanguid selgub, et keskmiselt on POST-tingimuses CFF-mõõtmiste keskmistatud tulemus 0.78 Hz madalam (*SD* = 1.65 Hz) kui PRE-tingimuses [$t(42) = 3.08$; $p < 0,05$] ning subjektiivsed väsimusehinnangud (PRE 1.67; *SD* = 1.14 ja POST 3.1; *SD* = 1.3) keskmiselt 1.43 palli (*SD* = 0.99) [$t(42) = -9.41$; $p < 0.05$] kõrgemad, kui PRE-tingimuses.

3.2. Pilgutuste arvu muutused

PRE-tingimuses tegid katseisikud keskmiselt 22.79 pilgutust (*SD* = 11.82), POST-tingimuses keskmiselt 26.41 pilgutust (*SD* = 16.73) - seega tõusis pilgutuste arv keskmiselt

27.07% ($SD = 89.41$), mis osutus statistiliselt usaldusväärseks tõusuks [$t(42) = -3.32$; $p < 0.05$].

3.3. Pilgutuste kestuste muutused

PRE-tingimuses oli pilgutuste kestus keskmiselt 353.76 ms ($SD = 46.64$), POST-tingimuses 358.78 ms ($SD = 52.98$). PRE- ja POST-tingimuse vahe oli keskmiselt 5,02 ms ($SD = 48.46$) ehk pilgutuste keskmine kestus suurenes, 2,1% ($SD = 13.56$) [$t(42) = -0.67$; $p = 0.51$].

3.4. Pilgutuste intervallide muutused

PRE-tingimuse pilgutuste intervallid olid keskmiselt 6070 ms ($SD = 3754.83$), POST-tingimuse pilgutuste intervallid olid keskmiselt 5738.66 ms ($SD = 5528.36$). Seega olid POST-tingimuse pilgutustevahelised intervallid keskmiselt 930.32 ms ehk 14.97% lühemad ($SD = 3121$ ms; $SD = 42.92$) kui PRE-tingimuses [$t(41) = 1.91$; $p = 0.06$]. Pilgutuste intervallide andmestikust on eemaldatud üks katseisik, kelle POST-tingimuse intervalliandmed ei osutunud usaldusväärseiks.

3.5. Pilgutuste amplituudide muutused

Mõõtmistulemused näitasid, et PRE-tingimuses sooritatud silmapilgutuste keskmine amplituud oli 217.564 μV ($SD = 80.69$), seejuures kui POST-tingimuses oli see 250.4815 μV ($SD = 60,81$), mis tähendab, et amplituud kasvas keskmiselt 32.91 μV ($SD = 63.34$) s.o. 25.13% ($SD = 82.44$) [$t(42) = -1.10$; $p = 0.28$].

3.6. Näitajatevahelised seosed

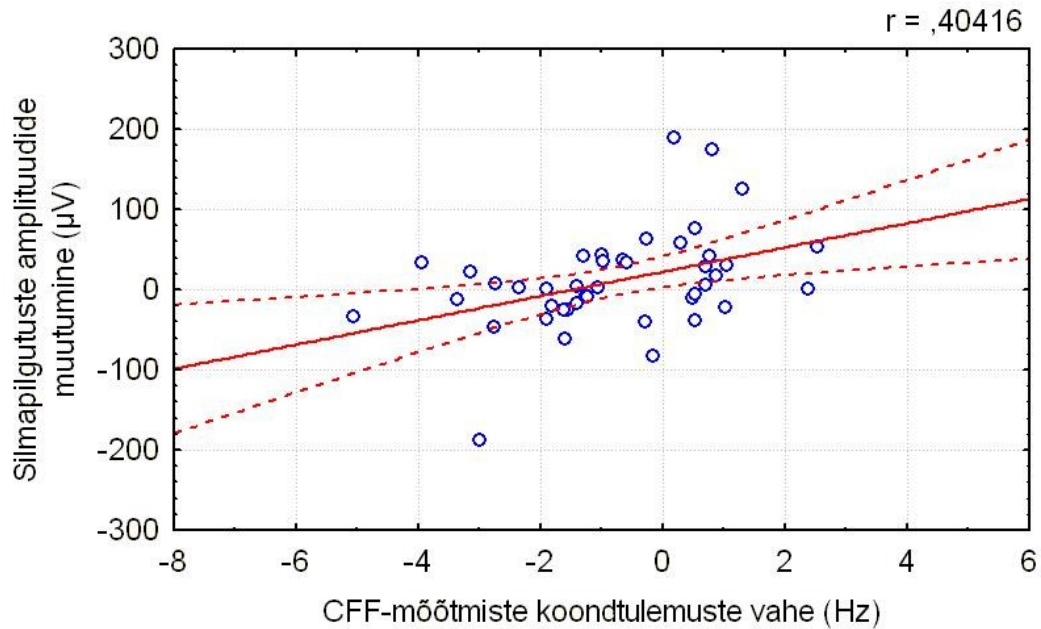
Leidsin Pearsoni lineaarsed korrelatiivsed seosed muutujate vahel (vt Tabel 1)

Tabel 1. Parameetrite muutused, korreleeritult SVC-näitajate muutustega, võrreldes POST-tingimust PRE-tingimusega

Pilgutuste parameetrid	CFF-tulemuste muutus	Borg CR10 muutus
Arv	.12	-.12
Kestus	.25	.08
Intervall	-.01	-.05
Amplituud	.40*	-.27

* $p < 0.05$

Ainust statistiliselt olulist korrelatsiooni, s.o. CFF-tulemuste muutuse ja silmapilgutuste amplituudide muutuste korrelatsiooni illustreeriv graafik on järgmine:



Joonis 4. CFF-tulemuste muutuse ja silmapilgutuste amplituudide muutuse korrelatsioonigraafik

3.6.1. CFF-mõõtmiste ja BORG CR10-hinnangute korrelatsioon

CFF-mõõtmiste keskmistatud tulemuste ja Borg CR10 vastuste korrelatsioonid on:

PRE-tingimuses: $r = 0.09$ ($p = .56$)

POST-tingimuses: $r = 0.13$ ($p = .42$)

Tingimustevahelise muutuse korrelatsioon: $r = -0.03$ ($p = .84$).

4. Arutelu ja järeldused

4.1. Üldine arutelu

Eeldusel, et monotoonsus, mida peetakse üheks autojuhtide väsimuse kasvule kõige rohkem kaasa aitavaks teguriks (Lal & Craig, 2001a; Lal & Craig, 2002), võis katseisikute ärkveloleku taset mõjutada ka käesolevas katses, püüame selle valguses lahata analüüsi tulemusi.

SVC-näitajate muutus suurenenud väsimuse suunas oli küllaltki ootuspärane leid, mis oli ka vajalik, et lähemalt uurida silmapilgutuste parameetreid. Teises uuringus, mille valim käesolevaga suuresti kattus, jõuti sarnaste tulemusteni (Tamm, M., Kuldkepp, N., Allik, J. & Kreegipuu, K., 2012). Olgugi, et viimaste omavaheline korrelatsioon ei olnud üheski tingimuses kuigi kõrge, ning kogu vaadeldava muutuse suhtes isegi kokkuvõttes negatiivne, leidis mõlema, nii subjektiivse hinnangu kui CFF-mõõtmise tulemuse puhul silmapilgutuste parameetreid, millega korreleeruti küllalt kõrgelt. Paraku ei olnud enamik vaadeldud korrelatsioonidest statistiliselt kuigi olulised, ent ka Ingre et al. (2006) on spekulerinud, et väga tähelepanuväärseid käitumuslikke ega füsioloogilisi muutuseid ei pruugigi esineda enne, kui on saavutatud küllaltki kõrge väsimuse tase. Teisalt on täheldada muutusi kõigis vaadeldud parameetrites, millest valdav enamus on liikunud hüpoteesides ennustatud suundades.

Varasemate uuringutega, mille kohaselt kõrge väsimusega kaasneb keskmise pilgutusamplituudi langus (Morris, 1985; Morris & Miller, 1996; Åkerstedt et al., 2010), satuvad käesolevad tulemused vastuollu. See aga teeb ruumi spekulatsioonidele – nimelt on võimalik, et kuna käesolevas uuringus instrueeriti katseisikuid pigem mitte pilgutama, siis tekkis neis teatav pingeseisund. Kui sellele pingeseisundile lõpuks järele anti, tehti tavapärasest intensiivsem pilgutus, mis väljendub ka ebatavaliselt tugevates pilgutuse elektrilistes omadustes. Samuti tekib küsimus, miks see parameeter, mida Schleicher et al. (2008) pidasid unisuse parimaks ennustajaks – silmapilgutuste kestus – ei olnud POST-tingimuses oluliselt PRE-tingimusega võrreldes muutunud. Vaatamata teatavale korrelatiivsele seosele ei olnud silmapilgutuste pikkuste keskmine tõus statistiliselt oluline. Kuigi kirjeldavad andmed näitavad ka märgatavat pilgutuste intervallide vähenemist POST-tingimuses, nagu ennustasin ka Hargutt (2003), Caffier et al. (2003), Schleicher et al. (2008) ja Åkerstedt et al. (2010) põhjal, ei olnud ka selle tingimustevaheline ega SVC-korrelatsioon

statistiliselt tähelepanuväärne ning võib olla puhtjuhuslik. Põhjuseid äsjakirjeldatud tulemuste saamiseks võis olla mitmeid. Esiteks, ükski käesolevas seminaritöös kirjeldatud uuring, v.a. Tamm et al. (2012), ei ole katse käigus andnud katseisikutele eraldi instruksioone silmapilgutustega seotud soovitava käitumise kohta (käesolevas uuringus instrueeriti katseisikuid pigem pilgutusi inhibiteerima, mis võis pilgutusi teadmata viisil mõjutada). Teiseks on ka spontaansete silmapilgutuste- ja liigutuste uurimisel leitud, et okulomotoorsetes parameetrites (ning unisusega seotud füsioloogilistes reaktsioonides) esineb äärmiselt suuri inimestevahelisi erinevusi (Caffier et al., 2003; Ingre et al., 2006; Schleicher et al., 2008), mida kinnitavad ka küllaltki suured standardhälbed, mis on välja toodud uuringu tulemustes (vt 3. Tulemused).

4.2. Tulevik

Lähtudes saadud tulemustest oleks võimalik küsida mitmeid edasisi küsimusi, millest paljudele oleks võimalik vastust otsida juba käesolevate andmete (k.a. toorandmete) põhjal. Lähtudes mitmete näitajate madalatest statistilise olulisuse näitajatest ja SVC-korrelatsioonidest võiksime küsida, kui suured ikkagi olid siinkohal individuaalsed erinevused. Selle tarvis oleks vaja teostada spetsiifilist ja detailset analüüsi juba üksikisiku raames, mida antud uuringus ei tehtud. Kindlasti oleks paljulubav jätkata mitmete seniste uuringute tänuväärset tööd ning pöörata rohkem tähelepanu ka silmapilgutuste spetsiifilisematele kulgemise eripäradele (näiteks leidsid Caffier et al. (2003) ja Schleicher et al. (2008), et täpsuselt teine SVC ennustaja oli viivitus silma taasavamisel), pikemate pilgutuste proportsioonile kõrgenenud väsimuse tingimuses (mida rõhutavad Caffier et al., 2003) jne. Levinud on ka seisukoht, et kui silmalaug on kinni pikemalt kui 500 ms, siis on tegemist juba mikrounega (Schleicher et al., 2008). Tähelepanuväärne on aga ka see, et mõned inimesed ei sulge silmi ka siis kui EEG-näitajate põhjal võiks arvata, et nad juba magavad (st EEG-graafikul esinevad unele spetsiifilised K-kompleksid) (O'Hanlon & Kelley, 1997; Lal and Craig 2001b järgi); teistel jällegi ei esine ka väga kõrge väsimuse puhul silmapilgutustes spetsiifilisi tundemärke, millest võiks nende unisuse kohta järeldusi teha (Schleicher et al., 2008). Mõõtmistulemusi võivad mõjutada ka silmapilgutusi detekteerivate algoritmide eripärad jpm - näiteks raporteerisid Caffier et al. (2003) keskmiseks ärkveloleku silmapilgutuse kestuseks ~200ms (nii nende endi kui ka eelnevate uurimuste põhjal). Käesoleva uuringu PRE-tingimuse ehk ärkveloleku keskmiseks silmapilgutuse vältuseks oli 358.78 ms ($SD = 52.98$), mis erineb märgatavalt Caffier et al. (2003) pakutud normist. Lähtuvalt aga sellest, et käesolevad tulemused on pea suurusjärgu võrra erinevad, ja seda

absoluutselt süstemaatiliselt, tuleb võtta neid täie tõsidusega ning analüüsida süvitsi selle põhjuseid. Samuti, lähtudes Luczak ja Sobolewski (2005) väitest, et ülenevat ja alanevat CFF-mõõtmise tulemust tuleks vaadelda kui erinevaid fenomene, oleks kõnekas neid ja nende korrelaate pilgutuseparameetrite ja subjektiivse väsimusega tulevikus eraldi uurida.

Lähtudes aga ideest, et silmapilgutuste põhjal võib väsimuse kohta korrektseid järeldusi teha, on loomulikult üheks kõige olulisemaks väljavaateks nende teadmiste rakenduslik kasutamine. Nagu juba sissejuhatuses arutlesin, on üheks potentsiaalsemaks valdkonnaks ohutus – eriti transporditööstuse vallas. On ülioluline õppida tundma silmapilgutuste iseärasusi, ent ehk veelgi olulisem oleks uurida põhjuseid, miks erinevad silmapilgutuste parameetrid inimestevaheliselt niivõrd palju. Eriti just unisuse ja mentaalse erksuse peegeldamise seisukohalt. Caffier et al. (2003) toovad välja mitmeid põhjuseid: keskkonnafaktorid, põletav tunne silmalaugudes, visuaalset töötlust nõudva informatsiooni hulk (sellest hetke pärast lähemalt) ja emotsionaalsed faktorid. Samas on kahtlemata olulised ka silmade kuivus, läätsede mõju jm. Veel on leitud, et näiteks silmapilgutuste intervallid on sõltuvad ka oodatava ülesande keerukusest (Goldstein, Bauer & Stern, 1992), mis oleks veel üks aspekt, mida võimalike rakenduslike abinõude väljatöötlemisel tuleks kindlasti arvestada. Ühe väljavaatena näen n-õ iseõppivaid detektoreid, mis esimestel kasutuskuudel küsivad pidevalt kasutaja käest subjektiivset tagasisidet väsimuse kohta, pannes seejärel paika individuaalse ohutusskaala igale kasutajale. Iga autokasutaja omab enda eripäradele vastavat konfiguratsiooniprofiili, mille ta autosse istudes käivitab.

Teine loogiline jätk käesolevale uurimisteamale lähtuks käesolevate toorandmete päritolust (vt 2. Meetod). Eeskätt Risto Näätäneni juhtimisel on üha rohkem tähelepanu pööratud lahknevusnegatiivsuse fenomenile (MMN ehk *Mismatch Negativity*). See seisneb huvitavas leiuses, et kui katseisikule näidata mõnda küllaltki konstantset (s.o. repetitiivse iseloomuga) stiimulit/stiimulikomplekti, siis seda varieerides (s.o. harjumuspärane asendatakse hetkeks mitteharjumuspärasega) ei pruugi katseisik ise kõrvalekallet märgata, ent ajulaineid jälgides on muutusele siiski näha füsioloogilist reaktsiooni (Näätänen, R., Kujala, T., Kreegipuu, K., Carlson, S., Escera, C., Baldeweg, T. & Ponton, C., 2011). Selle meetodi kasulikkus on end kognitiivsete võimete langemise – olgu see siis vanuselise või neurodegeneratiivse tagapõhjaga - detekteerimisel juba tõestanud (Näätänen, R., Kujala, T., Escera, C., Baldeweg, T., Kreegipuu, K., Carlson, S. & Ponton, C., 2012), ent selle potentsiaali täieliku mõistmise teekond ei ole kaugeltki veel lõpul. Lisaks algsetele, auditoorse modaalsuse MMN'i

uuringutele, on viimasel ajal hoogu kogunud ka teiste tajumodaalsuste MMN'i võimalike rakenduste leidmisele keskendunud teadustöö (Kuldkepp et al., 2011; Kuldkepp et al., 2012 jt). Huvitav oleks küsida, kas ka MMN parameetrid ise on pilgutuse omaduste, subjektiivselt raporteeritud väsimuse või objektiivselt hinnatud väsimust reflekteerivate füsioloogiliste korrelaatide poolt ennustatavad. Samuti seda, milline neist, või hoopis mõni muu parameeter, ennustab MMN'i ja automaatset visuaalse informatsiooni töötlust kõige edukamalt, ja on edasisteks uuringuteks ning rakenduslikuks kasutamiseks kõige potentsiaalsem.

Lisaks - on leitud, et mitte-visuaalse probleemilahendamise korral meie silmapilgutuste intervallid vähenevad (Wood & Hassett, 1983), visuaalsete ülesannete puhul aga hoopis pikenevad (David & Neumann, 2002). Käesoleva uuringu tuumkatseks olnud visuaalse MMN (vMMN) uuringu (mis nõuab pidevat visuaalset ärksust) andmestiku põhjal oleks huvitav panna proovile ka see hüpotees. Luues katsesituatsiooni, kus katseisikud instrueeritakse lahendama mitte-visuaalseid ülesandeid, kogudes katse käigus pidevat informatsiooni nende SVC kohta, võime tulemusi vMMN katse omadega võrreldes jõuda huvitavate järeldusteni. Juhul kui silmapilgutused osutuvad potentsiaalseks vMMN parameetrite ennustajateks, omaksid need hüpoteetilised tulemused edasistel vMMN-uuringutel, aga ka väsimusdetektorite arendustöös ja kogu ülejäänud silmapilgutusi puudutavas teadustöös, olulist tähtsust.

Kirjanduse loetelu

Åkerstedt, T., Ingre, M., Kecklund, G., Anund, A., Sandberg, D., Wahde, M., & ... Kronberg, P. (2010). Reaction of sleepiness indicators to partial sleep deprivation, time of day and time on task in a driving simulator – the DROWSI project. *Journal Of Sleep Research*, 19(2), 298-309.

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL, US: Human Kinetics.

Caffier, P. P., Erdmann, U., & Ullsperger, P. (2003). Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 89, No. 3-4, 319-325.

David L. Neumann. (2002): Effect of varying levels of mental workload on startle eyeblink modulation, *Ergonomics*, 45:8, 583-602.

Dinges, D. F. (1995). An overview of sleepiness and accidents. *Journal of Sleep Research*, 4, 4-14.

Evinger, C., & Manning, K. (1993). Pattern of extraocular muscle activation during reflex blinking. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 92(3), 502-506.

Goldstein, R., Bauer, L. O., & Stern, J. A. (1992). Effect of task difficulty and interstimulus interval on blink parameters. *International Journal of Psychophysiology*, 13, 111-117.

Gratton, G., & Coles, M. G. H. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 55, 468-484.

Gupta, S., Kar, S., Gupta, S., & Routray, A. (2010). Fatigue in Human Drivers: A Study Using Ocular, Psychometric, Physiological Signals. *IEEE symposium, Techsym, Kharagpur 1*, 234-240.

Idogawa, K. (1991). On the brain wave activity of professional drivers during monotonous work. *Behaviormetrika*, 30, 23-34.

Ingre, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: examining individual differences. *Journal of Sleep Research*, 15, 47-53.

Kuldkepp, N., Kreegipuu, K., Raidvee, A., & Allik, J. (2011). Reaction time to motion onset and magnitude estimation of velocity in the presence of background motion. *Vision Research*, 51, 1254-1261.

Kuldkepp, N., Kreegipuu, K., Raidvee, A., Näätänen, R., & Allik, J. (2012). Visual MMN to attended and unattended motion direction changes. Posterettekanne konverentsil „The 6th Conference on Mismatch Negativity and it's Clinical and Scientific Application“, 1.-4.05-2012, New York, USA.

Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001a). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55, 173-194.

Lal, S. K. L., & Craig, A. (2001b). Electroencephalography activity associated with driver fatigue: implications for a fatigue countermeasure device. *Journal of Psychophysiology*, 15, 183-189.

Luczak, A., & Sobolewski, A. (2005). Longitudinal changes in critical flicker fusion frequency: an indicator of human workload. *Ergonomics*, 48(15), 1770-1792.

Mitsubishi, T. (1995). Measurement and Analysis Methods for Critical Flicker Frequency and Observer Fatigue Caused by Television Watching. *Electronics & Communications In Japan, Part 3: Fundamental Electronic Science*, 78(6), 1-12.

Morris, T. L., & Miller, J. C. (1996). Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight. *Biological Psychology*, 42(3), 343-360.

Morris, T. L. (1985). Electrooculographic indices of changes in simulated flying performance. *Behavior Research Methods*, 17(2), 176-182.

Näätänen, R., Kujala, T., Escera, C., Baldeweg, T., Kreegipuu, K., Carlson, S., & Ponton, C. (2012). The mismatch negativity (MMN)--a unique window to disturbed central auditory processing in ageing and different clinical conditions.. *Clinical Neurophysiology*, 123(3).

Näätänen, R., Kujala, T., Kreegipuu, K., Carlson, S., Escera, C., Baldeweg, T., & Ponton, C. (2011). The mismatch negativity: an index of cognitive decline in neuropsychiatric and neurological diseases and in ageing. *Brain*, 134(12), 3435 - 3453.

Orchard, L. N., & Stern, J. A. (1991). Blinks as an index of cognitive activity during reading. *Integrative and Physiological Behavioral Science*, 26, 108–116.

Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? *Ergonomics*, 51(7), 982-1010.

Simonson, E., & Brozek, J. (1952). Flicker fusion frequency: Background and application. *Physics Review*, 32, 349-378.

Tamm, M., Kuldkepp, N., Allik, J., & Kreegipuu, K. (2012). Visual MMN is related to indicators of arousal. Posterettekanne konverentsil „*The 6th Conference on Mismatch Negativity and it's Clinical and Scientific Application*“, 1.-4.05-2012, New York, USA.

Williams, P. L., Warwick, R., Dyson M., & Bannister, L. H. (Eds). (1989). *Gray's Anatomy. 37th Ed.* Edinburgh: Churchill Livingstone.

Wood, J. G., & Hassett, J. (1983). Eyeblinking During Problem Solving: The Effect of Problem Difficulty and Internally vs Externally Directed Attention. *Psychophysiology*, 20, 18–20.

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

Johannes Vähi